

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年10月31日
Date of Application:

出願番号 特願2003-373119
Application Number:

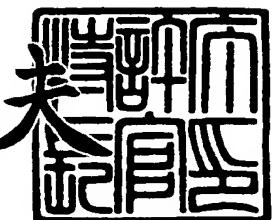
[ST. 10/C] : [JP2003-373119]

出願人 株式会社村田製作所
Applicant(s):

2003年11月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 MU12290-01
【提出日】 平成15年10月31日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 21/00
【発明者】
【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 26番10号 株式会社村田製作所内
【氏名】 山田 裕久
【発明者】
【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 26番10号 株式会社村田製作所内
【氏名】 山岡 修
【発明者】
【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 26番10号 株式会社村田製作所内
【氏名】 久保田 和幸
【特許出願人】
【識別番号】 000006231
【氏名又は名称】 株式会社村田製作所
【代理人】
【識別番号】 100091432
【弁理士】
【氏名又は名称】 森下 武一
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2002-339108
【出願日】 平成14年11月22日
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 007618
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9004894

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

複数の正弦波におけるコンデンサの平衡温度を求めて、各平衡温度におけるコンデンサの静電容量および誘電正接を、

【数1】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C b^2$$

P_e : 有効電力

$\tan \delta$: 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

b : 正弦波の振幅

に適用して、各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）を求めるステップと、

前記コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形から電圧値と周波数を求め、仮の温度を複数設定して各温度ごとの静電容量および誘電正接を求め、

【数2】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C (a^2 + b^2)$$

P_e : 有効電力

$\tan \delta$: 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

a : 余弦波の振幅

b : 正弦波の振幅

に適用して前記周期性電圧における各温度ごとの有効電力（計算値）を求めるステップと、

前記有効電力（回帰値）と前記有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、前記平衡温度における有効電力を前記周期性電圧での有効電力とするステップと、

を含むことを特徴とするコンデンサに関する有効電力の計算方法。

【請求項2】

前記有効電力（計算値）を算出するステップにおいて、前記周期性電圧をフーリエ展開し、各高調波ごとに有効電力を算出し、各高調波ごとの有効電力の総和を前記周期性電圧の有効電力（計算値）とすることを特徴とする請求項1記載のコンデンサに関する有効電力の計算方法。

【請求項3】

周期性電圧をコンデンサに印加して、前記コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形を測定し、測定した前記周期性電圧の波形から、請求項1または請求項2記載のコンデンサに関する有効電力の計算方法を用いて前記コンデンサが消費する有効電力を算出することを特徴とするコンデンサが消費する有効電力の測定方法。

【請求項4】

複数の正弦波におけるコンデンサの平衡温度を求めて、各平衡温度におけるコンデンサの静電容量および誘電正接を、

【数3】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C b^2$$

P_e : 有効電力

tan δ : 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

b : 正弦波の振幅

に適用して、各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）を求めるステップと、

前記コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形から電圧値と周波数を求め、仮の温度を複数設定して各温度ごとの静電容量および誘電正接を求め、

【数4】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C (a^2 + b^2)$$

P_e : 有効電力

tan δ : 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

a : 余弦波の振幅

b : 正弦波の振幅

に適用して前記周期性電圧における各温度ごとの有効電力（計算値）を求めるステップと

前記有効電力（回帰値）と前記有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、前記平衡温度における有効電力を前記周期性電圧での有効電力とするステップと、

前記周期性電圧での有効電力を前記コンデンサの許容電力と比較してコンデンサの使用可否判定をするステップと、

を含むことを特徴とするコンデンサ選定方法。

【請求項5】

複数のコンデンサの電圧特性、周波数特性および温度特性に基づく静電容量、誘電正接および各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）が予め記録されており、前記コンデンサを使用する電気回路に要求される静電容量と前記コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形が入力されたときに、前記周期性電圧の波形から、複数の仮の温度における有効電力（計算値）を算出し、前記有効電力（回帰値）と前記有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、前記平衡温度における有効電力を前記周期性電圧での有効電力とし、予め記録された該コンデンサの許容電力と前記周期性電圧での有効電力を比較してコンデンサの使用可否判定をする演算手段を備えたことを特徴とするコンデンサに関する有効電力の計算装置。

【請求項6】

コンピュータによってコンデンサに関する有効電力を計算するためのプログラムを記録した記録媒体において、

複数のコンデンサの電圧特性、周波数特性および温度特性に基づく静電容量、誘電正接および各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）が予め記録されており、前記コンデンサを使用する電気回路に要求される静電容量と前記コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形が

入力されたときに、前記周期性電圧の波形から、複数の仮の温度における有効電力（計算値）を算出し、前記有効電力（回帰値）と前記有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、前記平衡温度における有効電力を前記周期性電圧での有効電力とし、予め記録された該コンデンサの許容電力と前記周期性電圧での有効電力を比較してコンデンサの使用可否判定をするプログラムが記録されていることを特徴とするコンデンサに関する有効電力の計算プログラムを記録した記録媒体。

【書類名】明細書

【発明の名称】コンデンサに関する有効電力の計算方法、コンデンサが消費する有効電力の測定方法、コンデンサ選定方法、コンデンサに関する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンデンサに関する有効電力の計算方法、コンデンサが消費する有効電力の測定方法、コンデンサ選定方法、コンデンサが消費する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、コンデンサは、スイッチング電源のスナバ回路やカラーテレビの水平共振回路のように正弦波以外の任意の周期性パルス電圧が加わる電気回路に使用されている。この場合、誘電損による自己発熱に起因するコンデンサの故障（寿命の短命化や熱暴走による破壊など）を防止するため、コンデンサの許容電力容量を規定して、発熱を許容値以下にする必要がある。通常、許容電力容量には、測定の容易な皮相電力が用いられる。皮相電力は、（コンデンサに加わる電圧の実効値）×（コンデンサに流れる電流の実効値）で求まり、コンデンサに加わる電圧の波形が正弦波の場合には、比較的簡単に測定することができる。

【0003】

しかしながら、正弦波以外の任意の周期性パルス電圧がコンデンサに加わる場合には、コンデンサに加わる電圧の実効値やコンデンサに流れる電流の実効値を測定することが困難である。さらに、コンデンサの静電容量や誘電正接は、一般に電圧依存性および周波数依存性を有するため、計算から求めることも容易ではない。

【0004】

そこで、出願人は、コンデンサに加わる周期性パルス電圧の波形を高調波の正弦波と余弦波の級数にフーリエ展開し、各高調波毎に求めた皮相電力 P_{a_n} の総和から元の電圧波形での皮相電力 P_a を求める方法を提案した（特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2002-22779号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1に記載された方法には、以下に挙げる不具合があった。

【0006】

コンデンサの消費する電力、すなわち有効電力 P_e は、コンデンサの誘電正接と皮相電力 P_a の積として求められる（有効電力 P_e = 誘電正接 × 皮相電力 P_a ）。このとき、誘電正接の温度、電圧および周波数の依存性が小さく、定数と見なせる場合には、各高調波毎に求めた有効電力 P_{e_n} の和は、皮相電力 P_{a_n} の和と誘電正接の積に等しくなる（ Σ （有効電力 P_{e_n} ） = 誘電正接 × Σ （皮相電力 P_{a_n} ））。従って皮相電力 P_a をコンデンサが消費する有効電力 P_e の代替特性とすることができます。

【0007】

ところが、誘電正接の温度、電圧および周波数の依存性が大きく、定数と見なせない場合には、各高調波毎に求めた有効電力 P_{e_n} の和は、皮相電力 P_{a_n} の和と誘電正接の積には等しくならない（ Σ （有効電力 P_{e_n} ） ≠ 誘電正接 × Σ （皮相電力 P_{a_n} ））。従って、皮相電力 P_a をコンデンサが消費する有効電力 P_e の代替特性とすることはできなくなる。

【0008】

そこで、本発明の目的は、コンデンサの静電容量や誘電正接と周期性電圧波形とから、実際にコンデンサが消費する有効電力を求めることができるコンデンサに関する有効電力の計算方法、コンデンサが消費する有効電力の測定方法、コンデンサ選定方法、コンデン

サに関する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

以上の目的を達成するため、本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算方法は、

(a) 複数の正弦波におけるコンデンサの平衡温度を求めて、各平衡温度におけるコンデンサの静電容量および誘電正接を、

【0010】

【数1】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C b^2$$

P_e : 有効電力

$\tan \delta$: 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

b : 正弦波の振幅

に適用して、各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）を求めるステップと、

(b) コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形から電圧値と周波数を求め、仮の温度を複数設定して各温度ごとの静電容量および誘電正接を求め、

【0011】

【数2】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C (a^2 + b^2)$$

P_e : 有効電力

$\tan \delta$: 誘電正接

C : 静電容量

f : 周波数

a : 余弦波の振幅

b : 正弦波の振幅

に適用して周期性電圧における各温度ごとの有効電力（計算値）を求めるステップと、

(c) 有効電力（回帰値）と有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、平衡温度における有効電力を周期性電圧での有効電力とするステップと、を含むことを特徴とする。

【0012】

より具体的には、前記有効電力（計算値）を算出するステップにおいて、周期性電圧をフーリエ展開し、各高調波ごとに有効電力を算出し、各高調波ごとの有効電力の総和を周期性電圧の有効電力（計算値）とする。

【0013】

また、本発明に係るコンデンサが消費する有効電力の測定方法は、周期性電圧をコンデンサに印加して、該コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形を測定し、測定した周期性電圧の波形から、前述の特徴を有するコンデンサに関する有効電力の計算方法を用いてコンデンサが消費する有効電力を算出することを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係るコンデンサ選定方法は、

(d) 複数の正弦波におけるコンデンサの平衡温度を求めて、各平衡温度におけるコンデンサの静電容量および誘電正接を、

【0015】

【数3】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C b^2$$

に適用して、各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）を求めるステップと、

(e) コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形から電圧値と周波数を求め、仮の温度を複数設定して各温度ごとの静電容量および誘電正接を求め、

【0016】

【数4】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C (a^2 + b^2)$$

に適用して周期性電圧における各温度ごとの有効電力（計算値）を求めるステップと、

(f) 有効電力（回帰値）と有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、平衡温度における有効電力を周期性電圧での有効電力とするステップと、

(g) 周期性電圧での有効電力をコンデンサの許容電力と比較してコンデンサの使用可否判定をするステップと、

を含むことを特徴とする。

【0017】

また、本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算装置は、複数のコンデンサの電圧特性、周波数特性および温度特性に基づく静電容量、誘電正接および各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）が予め記録されており、コンデンサを使用する電気回路に要求される静電容量とコンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形が入力されたときに、周期性電圧の波形から、複数の仮の温度における有効電力（計算値）を算出し、有効電力（回帰値）と有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、平衡温度における有効電力を周期性電圧での有効電力とし、予め記録された該コンデンサの許容電力と周期性電圧での有効電力を比較してコンデンサの使用可否判定をする演算手段を備えたことを特徴とする。

【0018】

また、本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算プログラムを記録した記録媒体は、複数のコンデンサの電圧特性、周波数特性および温度特性に基づく静電容量、誘電正接および各平衡温度ごとの有効電力（回帰値）が予め記録されており、コンデンサを使用する電気回路に要求される静電容量とコンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形が入力されたときに、周期性電圧の波形から、複数の仮の温度における有効電力（計算値）を算出し、有効電力（回帰値）と有効電力（計算値）が等しくなる温度をコンデンサの平衡温度として、平衡温度における有効電力を周期性電圧での有効電力とし、予め記録された該コンデンサの許容電力と周期性電圧での有効電力を比較してコンデンサの使用可否判定をするプログラムが記録されていることを特徴とする。

【0019】

以上の方により、任意の周期性電圧の波形が加わる電気回路に用いられるコンデンサの消費する有効電力が、コンデンサの静電容量、誘電正接とコンデンサの両端に加わる周期性電圧波形とから得られる。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、任意の周期性波形を有する電圧が加わる電気回路に用いられるコンデンサの消費する有効電力を、コンデンサ両端に加わる周期性電圧の波形とコンデンサの静電容量および誘電正接とから算出することができる。従って、コンデンサの消費する有効電力を短時間で、精度良く、かつ安定して求めることができる。また、実際の電気回路がなくても、任意に設定した周期性電圧でのコンデンサの消費する有効電力を求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算方法、コンデンサが消費する有効電力の測定方法、コンデンサ選定方法、コンデンサに関する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体の実施の形態について添付の図面を参照して説明する。

【実施例】

【0022】

【コンデンサに関する有効電力の計算方法、コンデンサが消費する有効電力の測定方法】

まず周期性電圧が加わる電気回路を設定する。本実施形態では、スイッチング電源のスイッチングFETのスナバ回路を使用した。また、評価コンデンサには、容量値が470pF、定格電圧がDC1kVのセラミックコンデンサを選択した。

【0023】

次に、セラミックコンデンサに加わる正弦波以外の周期性パルス電圧V(t)の波形を設定する。本実施形態では、セラミックコンデンサ両端に加わる周期性パルス電圧V(t)の波形をオシロスコープで測定し、周波数が99.6kHz、peak to peak値V(p-p)が778Vの台形波を得た(図1参照)。

【0024】

次に、セラミックコンデンサの両端に加わる周期性パルス電圧V(t)の波形をフーリエ展開する。つまり、一定の周期をもつ非正弦波である周期性パルス電圧V(t)を、以下の(1)式のように、高次の周波数成分の正弦波と余弦波の級数にフーリエ展開する。

【0025】

$$V(t) = V_0 + \sum \{ a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \} \dots (1)$$

ω ：周期性パルス電圧V(t)の角速度

a_n ：n次の余弦波の項の振幅

b_n ：n次の正弦波の項の振幅

V_0 ：直流成分

【0026】

次に、セラミックコンデンサを通過する有効電力P'eを計算する。一般に、コンデンサを高周波の周期性パルス電圧が加わる回路に使用する場合、コンデンサの等価回路はコンデンサCと等価直列抵抗Rの直列接続となる。そして、コンデンサの静電容量をC(F)、等価直列抵抗をR(Ω)、インピーダンスをZ(Ω)、位相角をδとすれば、高周波正弦波電圧の角速度が ω (rad/s)の場合、以下の(2)式が成立する。

【0027】

【数5】

$$\tan \delta = \frac{R}{1/\omega C} = \omega CR$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{\frac{(\omega CR)^2 + 1}{(\omega C)^2}} = \frac{1}{\omega C} \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} \quad \dots (2)$$

【0028】

一方、コンデンサに加わる電圧をV (V)、コンデンサに流れる電流をI (A) とすれば、有効電力Pe (W) は等価直列抵抗Rが消費するエネルギーに等しく、以下の(3)式で表される。

【0029】

$$Pe = V \cdot I = R \cdot I^2 = R \cdot (V/Z)^2 \dots (3)$$

従って、(2)式と(3)式より、以下の(4)式が求まる。

【0030】

【数6】

$$\begin{aligned} Pe &= R \cdot \left(\frac{V}{Z}\right)^2 = R \cdot V^2 \cdot \left(\frac{\omega C}{\sqrt{1 + (\tan \delta)^2}}\right)^2 \\ &= \omega CR \cdot \frac{\omega CV^2}{1 + (\tan \delta)^2} = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \omega CV^2 \quad \dots (4) \end{aligned}$$

【0031】

ここで、(1)式において、n次の高調波成分の電圧の実効値をVrmsとすれば、余弦波の項と正弦波の項は独立であるから、以下の(5)式および(6)式が得られる。但し、(5)式および(6)式において、Tはn次高調波成分の周期であり、 $T = 2\pi/\omega$ である。

【0032】

【数7】

$$n\text{次の余弦波成分のVrms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{ a_n \cdot \cos(n\omega t) \}^2} = \frac{a_n}{\sqrt{2}} \quad \dots (5)$$

$$n\text{次の正弦波成分のVrms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{ b_n \cdot \sin(n\omega t) \}^2} = \frac{b_n}{\sqrt{2}} \quad \dots (6)$$

【0033】

従って、n次高調波成分の有効電力Pe_nは、(4)式、(5)式および(6)式により、以下の(7)式で表される。ここで、C_nおよびtan δ_nはn次高調波(=nω)におけるコンデンサの静電容量とtan δ(誘電正接)である。

【0034】

【数8】

$$\begin{aligned}
 P_{e_n} &= \frac{\tan \delta_n}{1 + (\tan \delta_n)^2} \cdot n \omega C_n \left\{ \left(\frac{a_n}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{b_n}{\sqrt{2}} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{\tan \delta_n}{1 + (\tan \delta_n)^2} \cdot \frac{n \omega C_n}{2} \left(a_n^2 + b_n^2 \right) \quad \cdots (7)
 \end{aligned}$$

【0035】

また、周期性パルス電圧 $V(t)$ の基本周波数を f とすると、 $\omega = 2\pi f$ であるから、(7) 式に代入することにより、以下の (8) 式が得られる。

【0036】

【数9】

$$P_{e_n} = \frac{\tan \delta_n}{1 + (\tan \delta_n)^2} \cdot n \pi f C_n \left(a_n^2 + b_n^2 \right) \quad \cdots (8)$$

【0037】

一般に、コンデンサの絶縁抵抗値は、 $100\text{M}\Omega$ 以上と非常に高く、直流成分 V_0 による有効電力は無視することができる。従って、周期性パルス電圧 $V(t)$ の有効電力 P_e は、以下の (9) 式のように、各高調波における有効電力 P_{e_n} の総和で求められる。

【0038】

【数10】

$$P_e = \sum_{n=1}^{\infty} P_{e_n} = \pi f \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\tan \delta_n}{1 + (\tan \delta_n)^2} \cdot n C_n \left(a_n^2 + b_n^2 \right) \right\} \quad \cdots (9)$$

【0039】

本実施形態では、表1に示すように、第31次高調波 (3100kHz) までフーリエ展開し、各高調波毎の余弦波成分と正弦波成分の電圧値を求めた。図2はフーリエ展開を実施した電圧波形を示すグラフである。図3は、フーリエ展開により求めた第31次高調波までの余弦波成分と正弦波成分と直流成分 $V_0 = 363.5\text{V}$ を合成した波形を示すグラフである。

【0040】

【表1】

表1

n	周波数 [kHz]	電圧 [V]	
		a _n	b _n
1	100	-174.8	287.5
2	200	9.1	103.7
3	300	-48.8	42.0
4	400	-27.5	30.8
5	500	-41.4	8.7
6	600	-34.6	13.4
7	700	-21.1	3.5
8	800	-17.4	-6.3
9	900	-22.9	-11.1
10	1000	-16.7	-7.8
11	1100	-9.6	-10.1
12	1200	-6.2	-15.4
13	1300	-7.0	-18.9
14	1400	0.8	-18.0
15	1500	12.7	-16.8
16	1600	25.5	-6.9
17	1700	13.6	11.5
18	1800	-0.9	10.7
19	1900	0.3	6.7
20	2000	-1.2	3.8
21	2100	-3.7	1.3
22	2200	-5.0	0.9
23	2300	-2.3	0.3
24	2400	-1.4	-0.8
25	2500	-2.8	-3.8
26	2600	-2.3	-3.2
27	2700	0.1	-2.3
28	2800	1.5	-3.5
29	2900	2.4	-4.8
30	3000	2.5	-1.7
31	3100	3.5	-0.7

【0041】

ここで、一般に C_n および $\tan \delta_n$ は温度、電圧、周波数の関数である。このうち、電圧と周波数に関してはコンデンサ両端に加わる電圧波形が定まればフーリエ展開によりそれぞれが確定する。しかし、温度に関しては電圧波形だけでは確定しない。なぜなら、コンデンサに電流が流れれば、消費した有効電力が熱エネルギーに変化して発熱し、コンデンサはこの発熱量と放熱量が平衡する温度まで上昇するからである。

【0042】

コンデンサの温度を決定するためには有効電力値が必要であるが、有効電力を求めるためには C_n 、 $\tan \delta_n$ を決定するためにコンデンサの温度が必要となり、結局、コンデンサの温度を決定することができない。つまり有効電力 P_e は温度の関数 $P_e = f$ (温度) となるが、その温度が未知数である。

【0043】

この問題を解決する方法として、この温度が有効電力 P_e と放熱量とが平衡する温度で

あることを利用した。まず、複数の高周波の正弦波を用いて、雰囲気温度25℃でのコンデンサの平衡温度を測定した。 C_n 、 $\tan \delta_n$ は温度、電圧、周波数の関数であるので、正弦波条件（電圧および周波数）と平衡温度（実測値）とから C_n 、 $\tan \delta_n$ を決定する。コンデンサに印加する高周波が正弦波なので、フーリエ展開してその総和を求める必要がないため、この C_n 、 $\tan \delta_n$ ($n = 1$) を(8)式に代入して各正弦波における有効電力 P_e を求めた。コンデンサの平衡温度（実測値）と各正弦波における有効電力 P_e の関係を回帰式とし、ある平衡温度の時の有効電力 P_e （回帰値）を求められるようにした。また、正弦波であるため、(8)式において、余弦波の振幅である a が0となり、(8)式は以下のような式になる（ただし、添え字の $n = 1$ は省略）。

【0044】

【数11】

$$P_e = \frac{\tan \delta}{1 + (\tan \delta)^2} \cdot \pi f C b^2$$

【0045】

こうして得られたコンデンサの平衡温度と有効電力 P_e （回帰値）との関係を表2に示す（表2の中央欄のデータ参照）。

【0046】

【表2】

表2

コンデンサ平衡温度 [°C]	有効電力 P_e [W]	
	正弦波での実測値 からの回帰値	パルス波形のフーリエ解析から求めた値
40	0.166	0.527
41	0.175	0.502
42	0.184	0.477
43	0.193	0.453
44	0.202	0.430
45	0.210	0.408
46	0.218	0.387
47	0.226	0.367
48	0.234	0.348
49	0.242	0.330
50	0.249	0.313
51	0.257	0.296
52	0.264	0.281
52.2	0.265	0.278
52.4	0.267	0.275
52.6	0.268	0.272
52.8	0.270	0.270
53	0.271	0.267
54	0.278	0.253
55	0.285	0.241
56	0.291	0.229
57	0.298	0.218
58	0.304	0.208
59	0.311	0.198
60	0.317	0.189
61	0.323	0.181
62	0.329	0.172
63	0.335	0.164
64	0.341	0.157
65	0.347	0.149

【0047】

次に、コンデンサ両端に加わる周期性パルス電圧の波形から、電圧値と周波数を求める。しかし、この周期性パルス電圧波形によるコンデンサの平衡温度は未知であるため、仮の温度を複数設定して各温度ごとの C_n 、 $t \tan \delta_n$ を決定する。周期性パルス電圧が正弦波などで、フーリエ展開してその総和にしなくとも求めることができる場合は、総和にする必要がないため、この C_n 、 $t \tan \delta_n$ ($n = 1$) を (8) 式に代入して有効電力 P_e (計算値) を計算し、周期性パルス電圧における各温度ごとの有効電力 P_e (計算値) を求めた。計算結果を表2の右欄に示す。この計算値の有効電力 P_e (計算値) と回帰式から求めた有効電力 P_e (回帰値) とが等しくなる温度が求めるコンデンサの平衡温度であり、そのときの有効電力が求める周期性パルス電圧波形の有効電力 P_e である。

【0048】

図4は、正弦波での実測値から回帰式にして求めた有効電力 P_e (回帰値) のグラフ (実線10参照) と、周期性パルス電圧波形のフーリエ解析から求めた有効電力 P_e (計算

値) のグラフ (実線 11 参照) とを示す。そして、実線 10 と実線 11 の交点が求める周期性パルス電圧の有効電力 P_e であり、コンデンサの平衡温度である。実線 10 はコンデンサ毎の固有の曲線である。実線 11 は周期性パルス電圧波形の周波数に依存する曲線である。すなわち、実線 11 は、 n 次高調波の次数 n が高くなるにつれて原点から遠ざかり、実線 10 との交点の平衡温度が高くなつてゆく。逆に、 n 次高調波の次数 n が低くなるにつれて原点に近づき、実線 10 との交点の平衡温度が低くなつてゆく。本実施形態ではコンデンサの平衡温度は 52.8 ℃であり、コンデンサが消費する有効電力 P_e は 0.27 W であった。因みに実際のスイッチング電源で雰囲気温度 25 ℃でのコンデンサの平衡温度を線径 0.1 mm の K 熱電対で測定したところ、51.3 ℃であった。

【0049】

以上の方により、台形波を有する周期性パルス電圧 $V(t)$ が加わるスナバ回路に用いられるセラミックコンデンサが消費する有効電力 P_a を求めることができる。従つて、セラミックコンデンサが消費する有効電力 P_a の測定にかかる時間を大幅に短縮することができる。

【0050】

[コンデンサ選定方法、コンデンサに関する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体]

図 5 は、コンデンサ選定方法およびコンデンサに関する有効電力を計算するためのプログラムを記録した記録媒体としてのフレキシブルディスク 10 を示す。ただし、フレキシブルディスク以外に、CD-ROM などであつてもよいことは言うまでもない。コンピュータ 20 は、フレキシブルディスク 10 に記録されているコンデンサ選定方法およびコンデンサに関する有効電力計算プログラムを、内蔵している CPU に転送 (インストール) し、演算する。図 6 はインストールされたプログラムの一例を示すフローチャートである。

【0051】

フレキシブルディスク 10 には、複数のコンデンサの品名と、これらのコンデンサの許容電力容量、並びに、静電容量 C_n と誘電正接 $\tan \delta_n$ の温度特性、電圧特性および周波数特性のデータと、任意の周期性電圧の波形を設定することができるプログラムと、図 6 のフローチャートに示されたコンデンサが消費する有効電力の測定方法およびコンデンサ選定方法のプログラムなどが記録されている。

【0052】

このプログラムを起動することにより、図 7 に示すような初期画面がコンピュータ 20 のディスプレイに表示される。画面の左上には、コンデンサに印加する電圧波形設定部 (Voltage Waveform Data Input) が表示されている。この電圧波形設定部において、テキストファイルやイメージファイルから、あるいはコンピュータ 20 のマウスを使ってコンデンサに印加する周期性電圧波形を設定する (図 6 のフローチャートのステップ S1)。画面の下側にはコンデンサのリストが表示されている。このリストにはコンデンサのシリーズ名や品番、定格電圧、公称静電容量が載っている。

【0053】

さて、テキストファイルから電圧波形を入力することを選択した場合には、図 8 に示すような画面が表示されるので、予めコンピュータ 20 に記録されている複数のデータファイルの中から所望のデータファイルを選択する。そして、時間と電圧値の数値データを入力することによって周期性電圧波形を設定する。

【0054】

あるいは、イメージファイルから電圧波形を入力することを選択した場合には、図 9 に示すような画面が表示される。周期性電圧波形の画像データは、コンピュータ 20 に直接又はネットワークを通じて接続された測定器から直接取り込むことや、測定器のデータを保存したフレキシブルディスクに代表される記録媒体を介して入力する。そして、この画像データをマウスでトレースして周期性電圧波形を設定する。また、マウスを使って電圧波形を自由に入力することを選択した場合には、図 10 に示すような画面が表示される。

【0055】

このようにして電圧波形を入力し終えると、図11に示すような画面が表示される。次に、コンピュータ20のキーボードやマウス等の入力装置を使って、理論設計または実際の回路に使用しようと思っているコンデンサのタイプを入力する。すなわち、リード端子タイプまたはチップ積層タイプのいずれか一方を選択する。

【0056】

次に、図12に示すように、所望するコンデンサの静電容量を、キーボードやマウス等の入力装置を使って入力する（図6のフローチャートのステップS2）。すると、コンピュータ20のCPUは、静電容量が合致するコンデンサをコンデンサのリストから抽出し（図6のフローチャートのステップS3）、さらに、入力した周期性電圧波形で使用できる定格電圧のコンデンサを抽出する（図6のフローチャートのステップS4）。

【0057】

さらに、コンピュータ20のCPUは、図6のフローチャートのステップS5のフーリエ展開およびステップS6の有効電力を演算する。これらフーリエ展開および有効電力の演算については既に詳細に説明しているので、ここでは詳しくは説明しない。このとき、コンピュータ20にインストールされている各コンデンサの静電容量 C_n と誘電正接 $\tan\delta_n$ の温度特性、電圧特性および周波数特性のデータが、コンピュータ20のCPUに転送され、演算に利用される。これにより、ステップS4で抽出されたコンデンサの、正弦波での実測値からの回帰値から得られる各平衡温度での有効電力 P_e （表2の中央の欄に相当するもの）が得られる。そして、仮の温度毎に計算した、パルス波形のフーリエ解析から求めた有効電力 P_e （表2の右の欄に相当するもの）と比較して、両者が一致する温度が求めるコンデンサの平衡温度であり、そのときの有効電力が、コンデンサが消費する有効電力 P_e （計算値）である。

【0058】

次に、このコンデンサが消費する有効電力（計算値）が、コンピュータ20にインストールされているコンデンサの許容電力容量の範囲におさまっているか否かの判定が行なわれる（図6のフローチャートのステップS7）。仮に、コンデンサが消費する有効電力（計算値）が該コンデンサの許容電力の範囲外であれば、このコンデンサは使用不可能と判断される。範囲内であれば、このコンデンサは使用可能と判断して、ステップS8に進み、このコンデンサを選定リストに入れる。さらに、ステップS4で抽出されたコンデンサ全ての使用可否の判定結果が出るまでステップS10でフィードバックされる。

【0059】

こうしてコンデンサの選定が全て終わると、図13に示すように、コンデンサの選定リスト（使用可否判定結果一覧表）の画面がコンピュータ20のディスプレイに表示される。このリストには、許容電力容量に対する有効電力（計算値）の比率も載せられている。この結果、コンデンサの公称静電容量とコンデンサの両端に加わる周期性電圧波形を入力するだけで、使用可能なコンデンサを選択して表示することができる。

【0060】

また、図14に示すように、これらの結果をプリンタなどの印刷手段を用いて紙に印刷できるようにしておくことにより、後に解析結果を確認することができる。このとき、解析結果だけでなく、各設定値を印刷できるようにしておくことにより、設定値と解析結果とを関連づけて把握することができる。

【0061】

このようなプログラムは、たとえばCD-ROMなどの記録媒体に記録しておくことができるので、この発明の方法を実行するプログラムを記録したCD-ROMからパーソナルコンピュータにインストールすることにより、そのパーソナルコンピュータをコンデンサを通過する有効電力の計算装置として使用することができる。また、このようなプログラムをホームページからダウンロードできるようにしてもらよい。

【0062】

[他の実施形態]

なお、本発明は前記実施形態に限定するものではなく、その要旨の範囲内で種々に変更することができる。特に、前記実施形態はセラミックコンデンサを例にして説明しているが、静電容量と誘電正接の温度特性、電圧特性および周波数特性がわかるならば、コンデンサの種類は問わない。さらに、周期性電圧の波形は任意であり、例えば台形波、方形波、ノコギリ波などであってもよい。当然のことながら、周期性電圧が正弦波であっても、本発明を利用することは可能である。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】コンデンサに加わる周期性電圧の波形の一例を示すグラフ。

【図2】フーリエ展開を実施した電圧波形を示すグラフ。

【図3】フーリエ展開により求めた直流成分と第31次高調波までの余弦波成分と正弦波成分とを合成した波形を示すグラフ。

【図4】正弦波での実測値からの回帰値を示すグラフと、周期性電圧波形のフーリエ解析から求めた値を示すグラフ。

【図5】本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算装置およびその計算プログラムを記録した記録媒体の一実施形態を示す概略構成図。

【図6】本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算方法およびコンデンサ選定方法の一実施形態を示すフローチャート。

【図7】本発明に係るコンデンサに関する有効電力の計算装置を起動したときに表示される初期画面の一例を示す図。

【図8】コンデンサの両端に加わる周期性電圧波形を時間と電圧値の数値データとして入力する画面の一例を示す図。

【図9】コンデンサの両端に加わる周期性電圧波形の画像データをマウスでトレースして入力する画面の一例を示す図。

【図10】コンデンサの両端に加わる周期性電圧波形をマウスで自由に入力する画面の一例を示す図。

【図11】コンデンサの両端に加わる周期性電圧を入力後の画面の一例を示す図。

【図12】図11に続くコンデンサの両端に加わる周期性電圧波形を入力後の画面の一例を示す図。

【図13】コンデンサの使用可否の判定結果の表示画面の一例を示す図。

【図14】解析結果を印刷した状態を示す図。

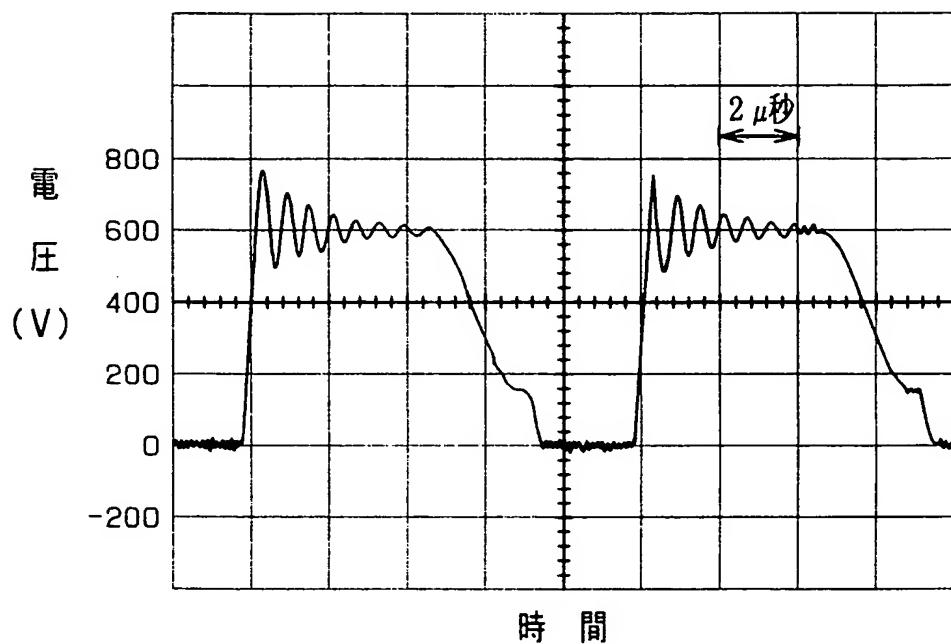
【符号の説明】

【0064】

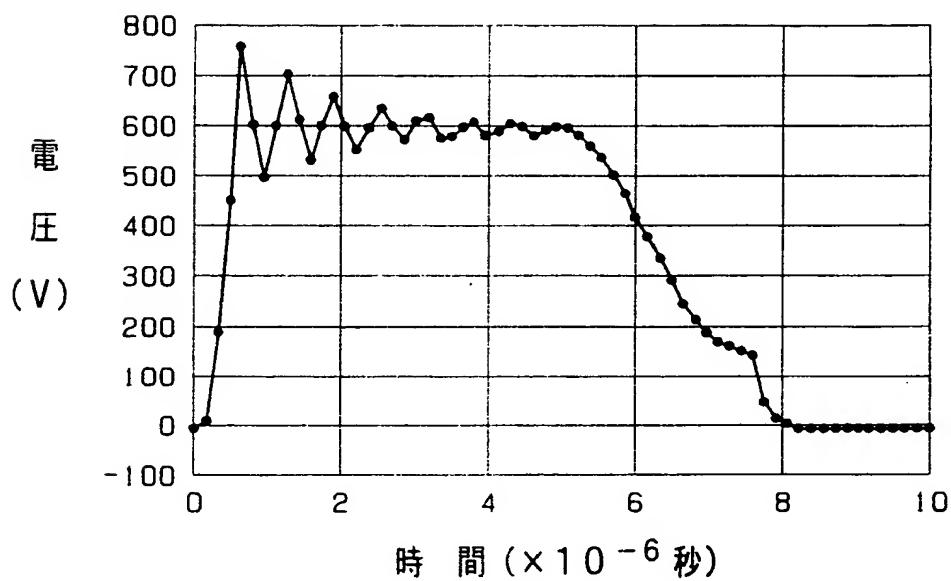
10…フレキシブルディスク

20…コンピュータ

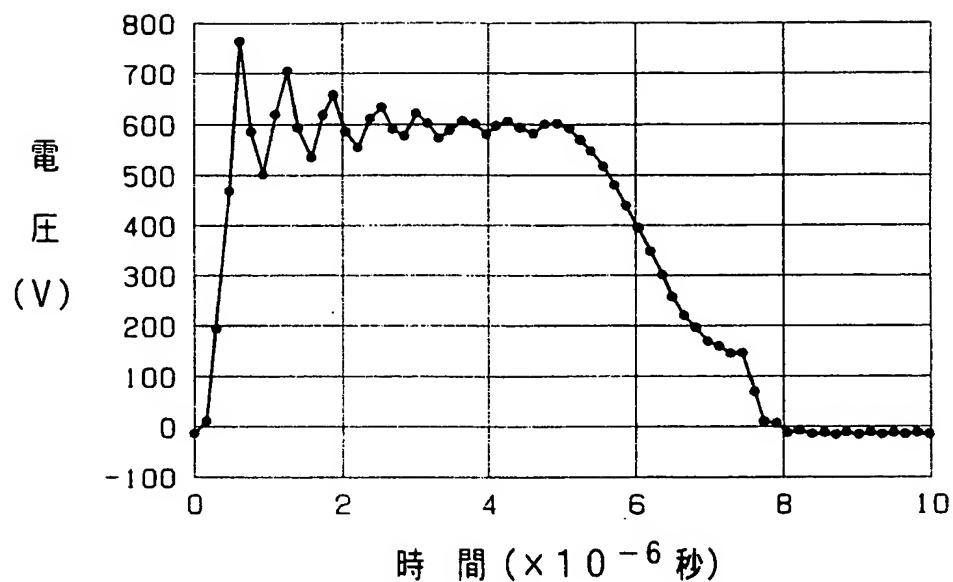
【書類名】図面
【図 1】



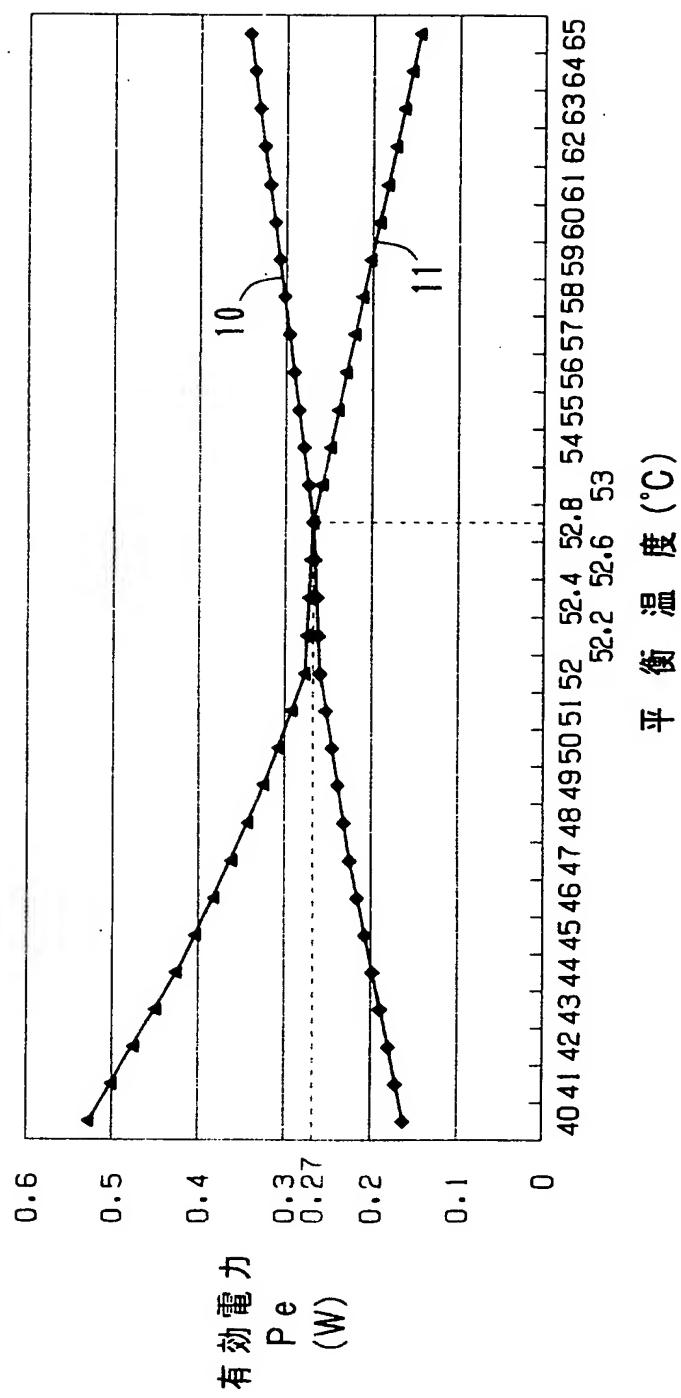
【図 2】



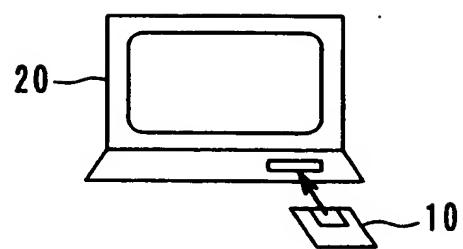
【図3】



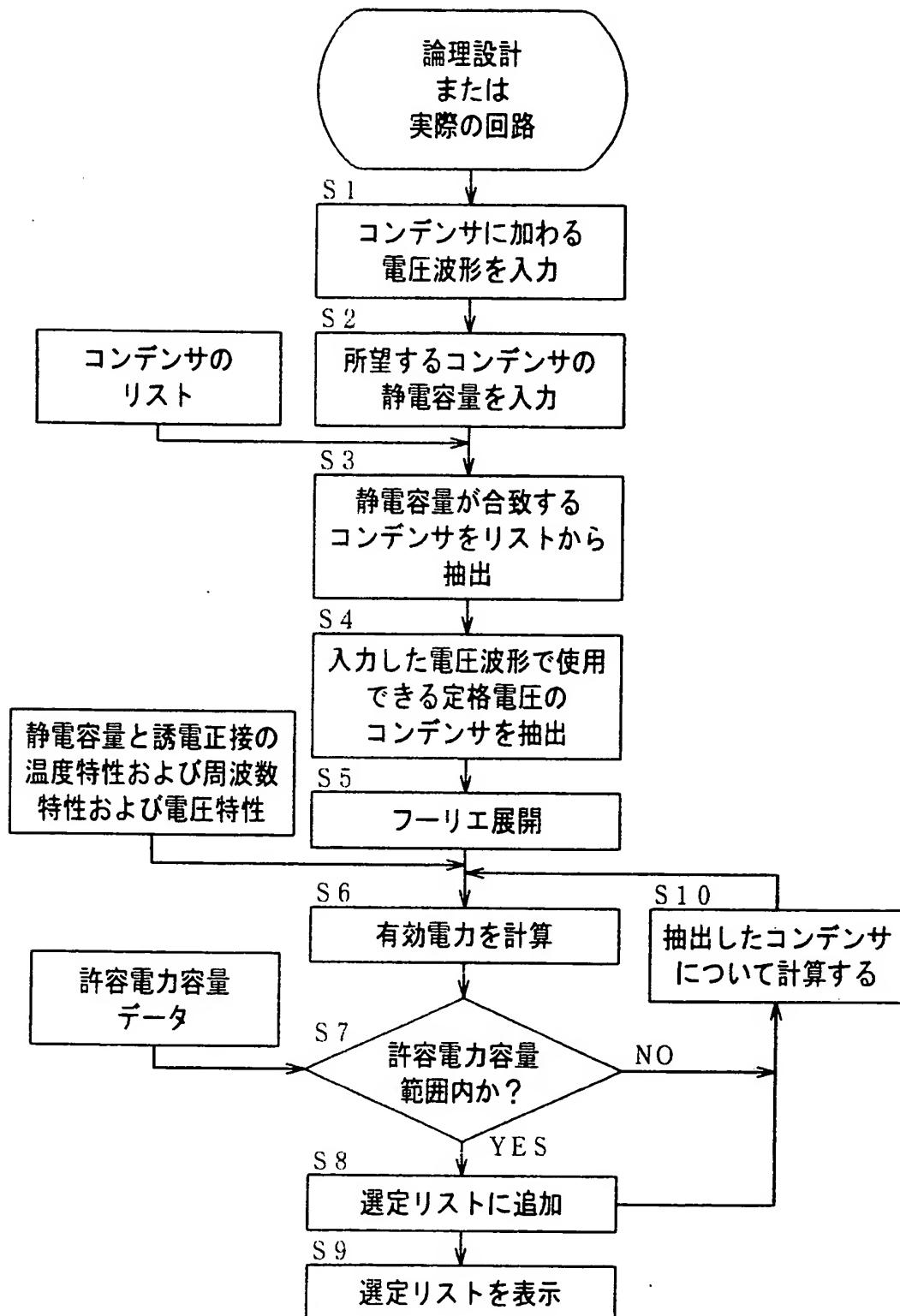
【図4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

http://www.murata.co.jp

Select a data input method in "Voltage Waveform Data Input", and click the [Enter] button.

Voltage Waveform Data Input

From Text File

From Image File

Mouse Input

Enter

コンデンサの品番

コンデンサの定格電圧

コンデンサの公称静電容量

コンデンサの
シリアル名

コンデンサ
のリスト

Series	Murata Part Number	Rated Voltage[V]	Nominal Capacitance[PF]	Judgement	Power(Aallowable power[%])
DEH	DEHC32H31KA2B	500	330	330	330
DEH	DEHC32H31KB2B	500	330	330	330
DEH	DEHC32H31KN2A	500	470	470	470
DEH	DEHC32H471KA2B	500	470	470	470
DEH	DEHC32H471KB2B	500	680	680	680
DEH	DEHC32H471KN2A	500	680	680	680
DEH	DEHC32H681KA2B	500	680	680	680
DEH	DEHC32H681KB2B	500	680	680	680

【図8】

■ Murata Medium-voltage Capacitors Selection Tool by Voltage Form

アーリーの場所:

アーリーの場所:

データファイルの選択

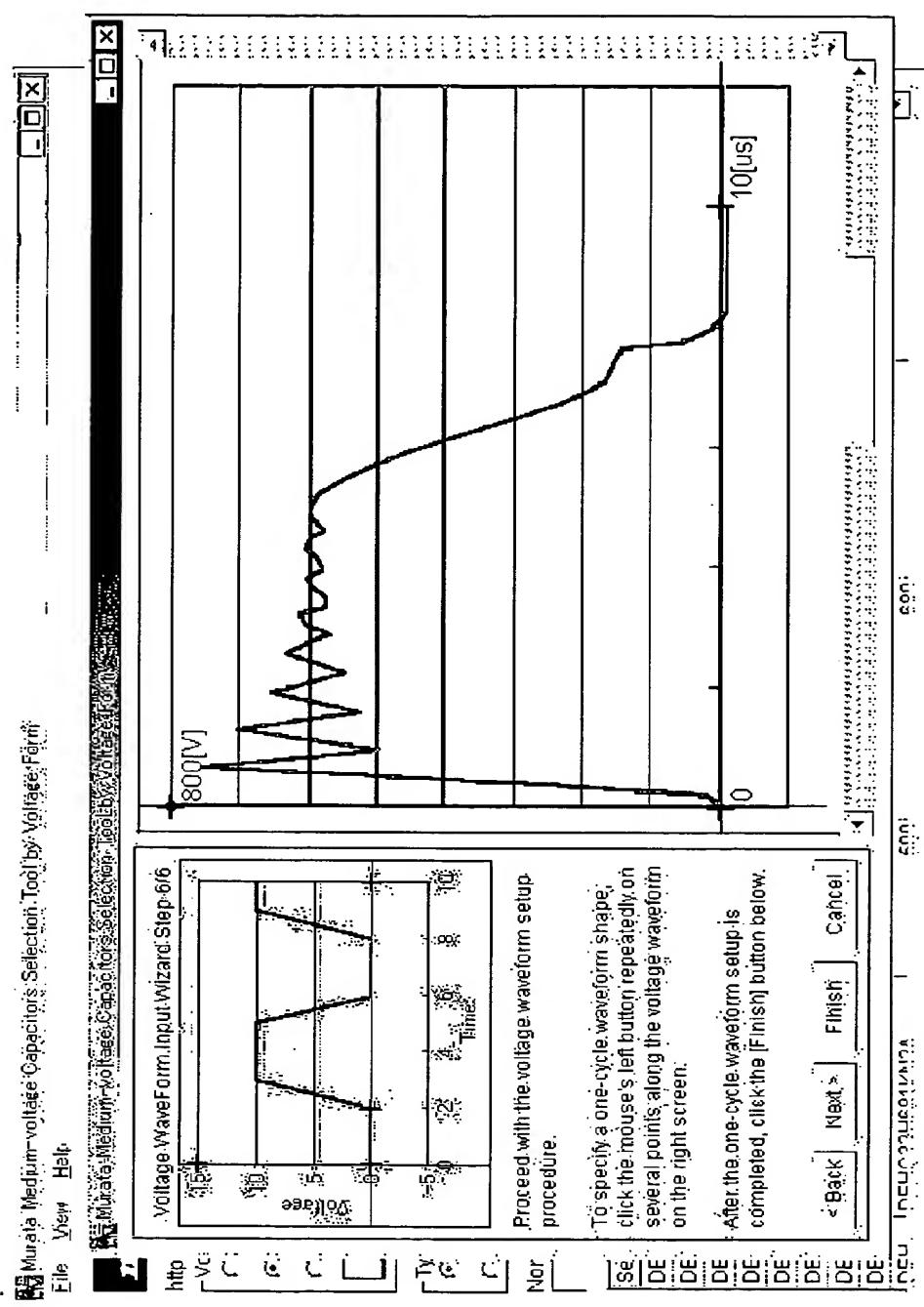
ファイル名(yyyy):

ファイルの種類:

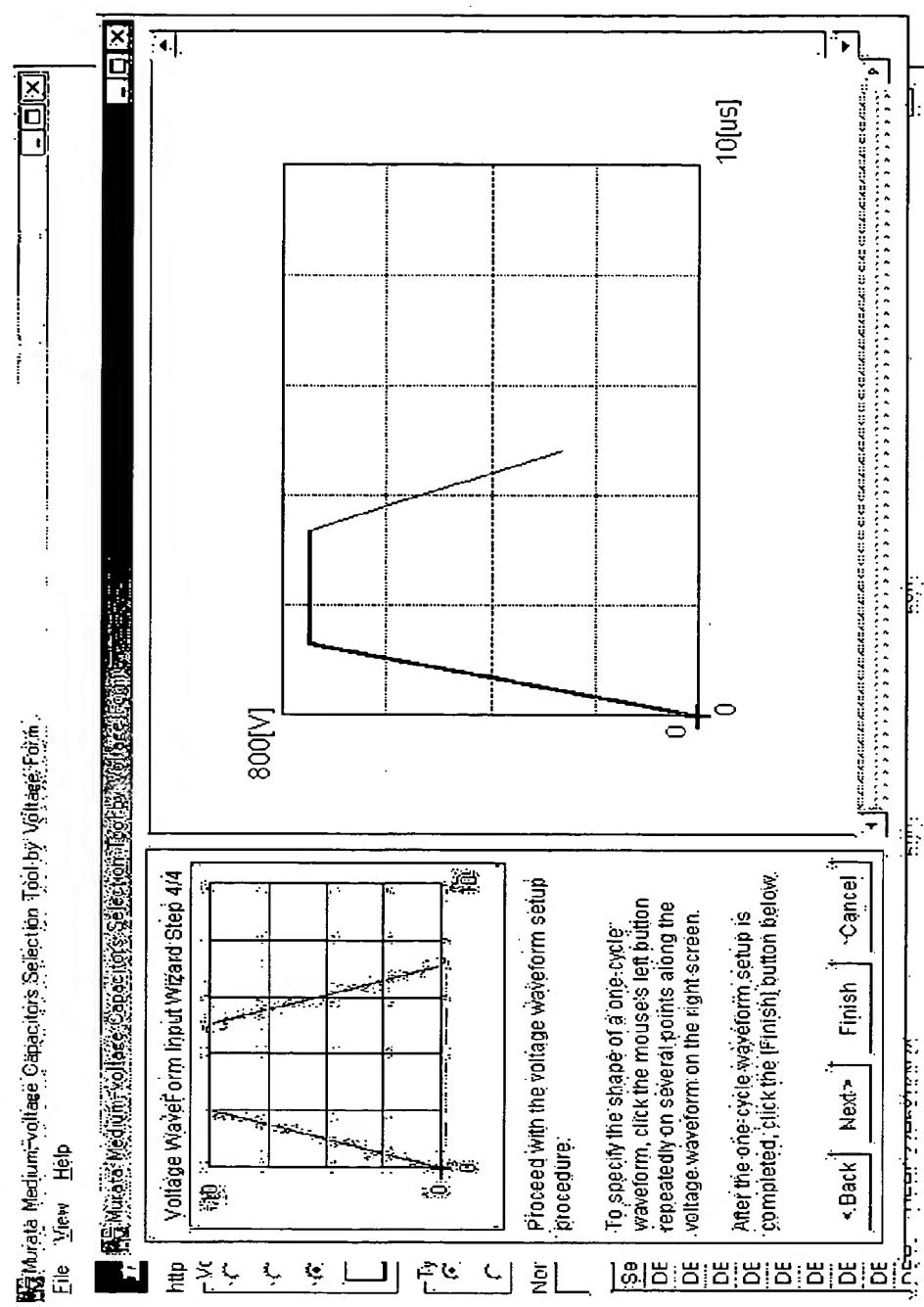
Enter

Series	Murata Part Number	Rated Voltage[V]	Nominal Capacitance[pF]	Judgement	Power/Allowable power[%]
DEH	DEHC32H331KA2B	500	500	330	330
DEH	DEHC32H331KB2B	500	500	330	330
DEH	DEHC32H331KN2A	500	500	330	330
DEH	DEHC32H41KA2B	500	500	470	470
DEH	DEHC32H41KB2B	500	500	470	470
DEH	DEHC32H41KN2A	500	500	470	470
DEH	DEHC32H681KA2B	500	500	680	680
DEH	DEHC32H681KB2B	500	500	680	680
DEH	DEHC32H681KN2A	500	500	680	680

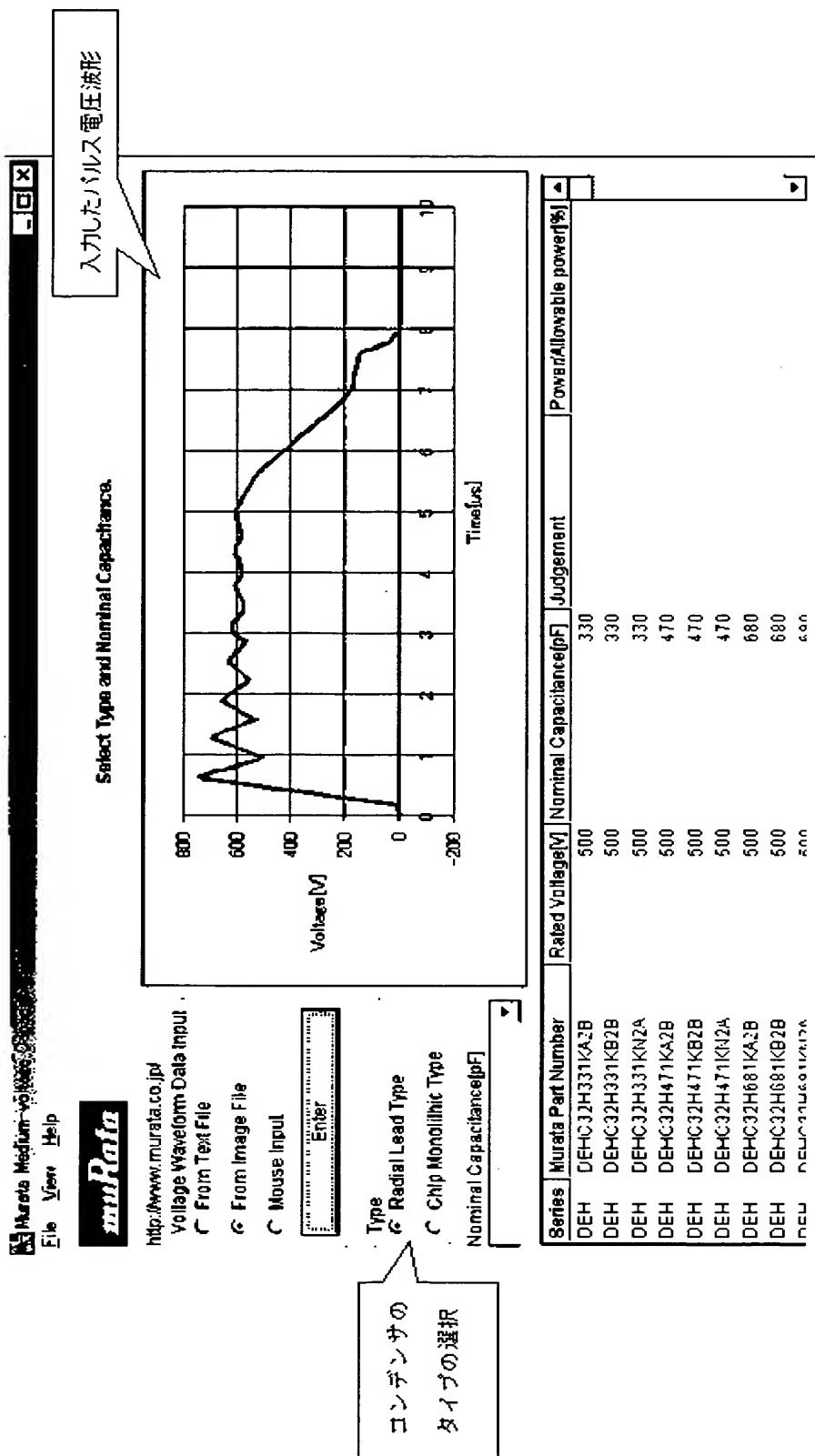
【図9】



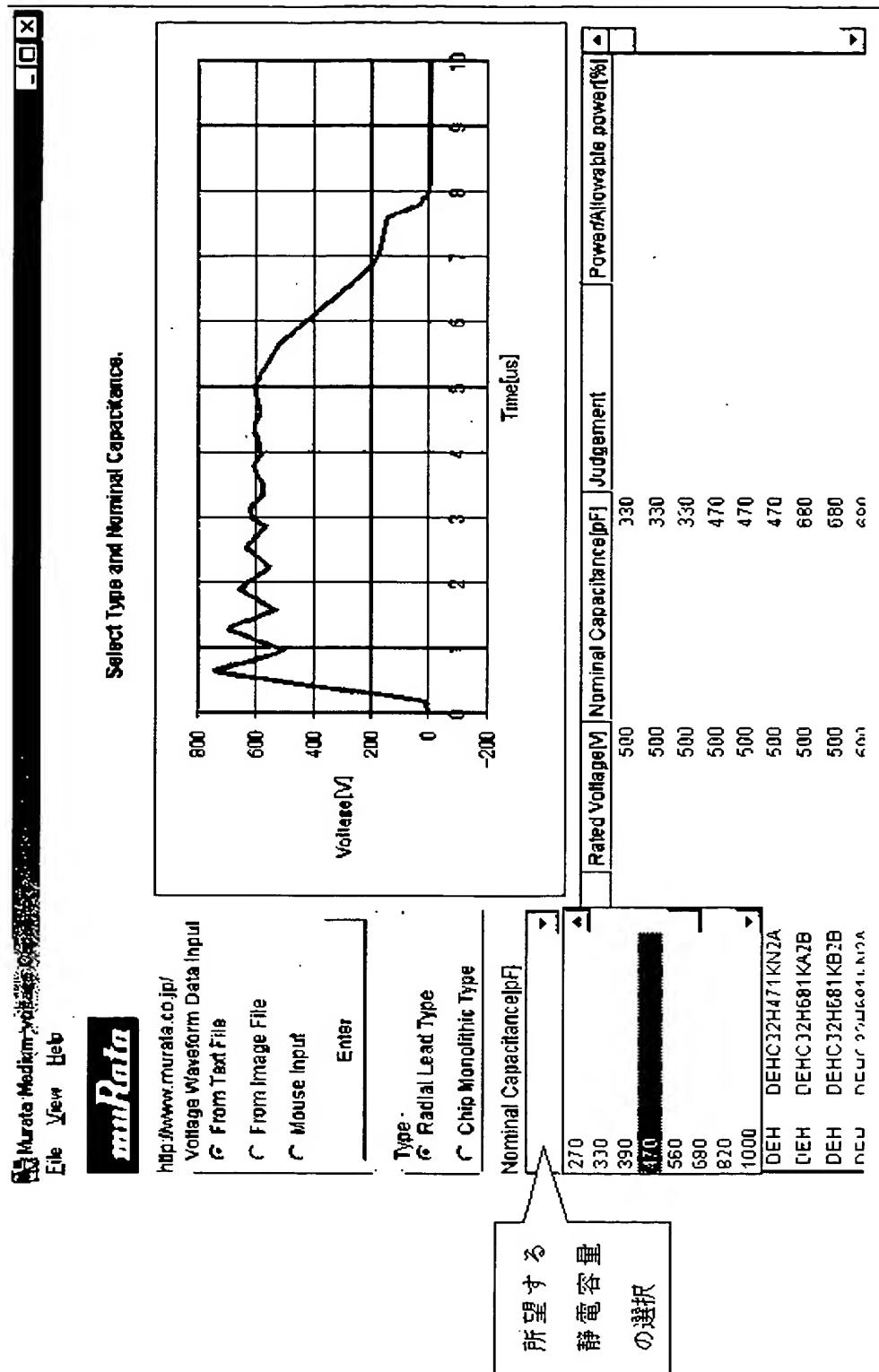
【図10】



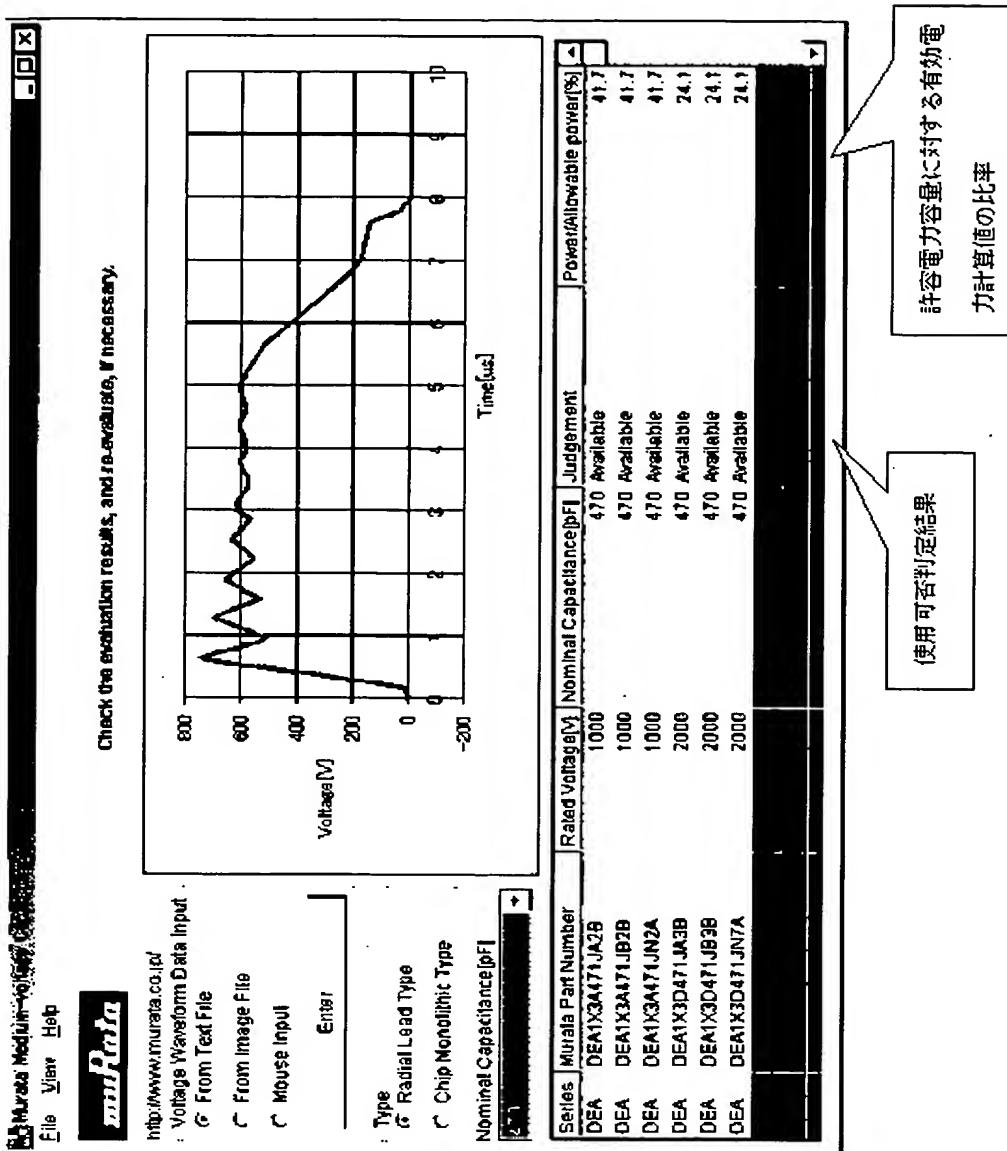
【図11】



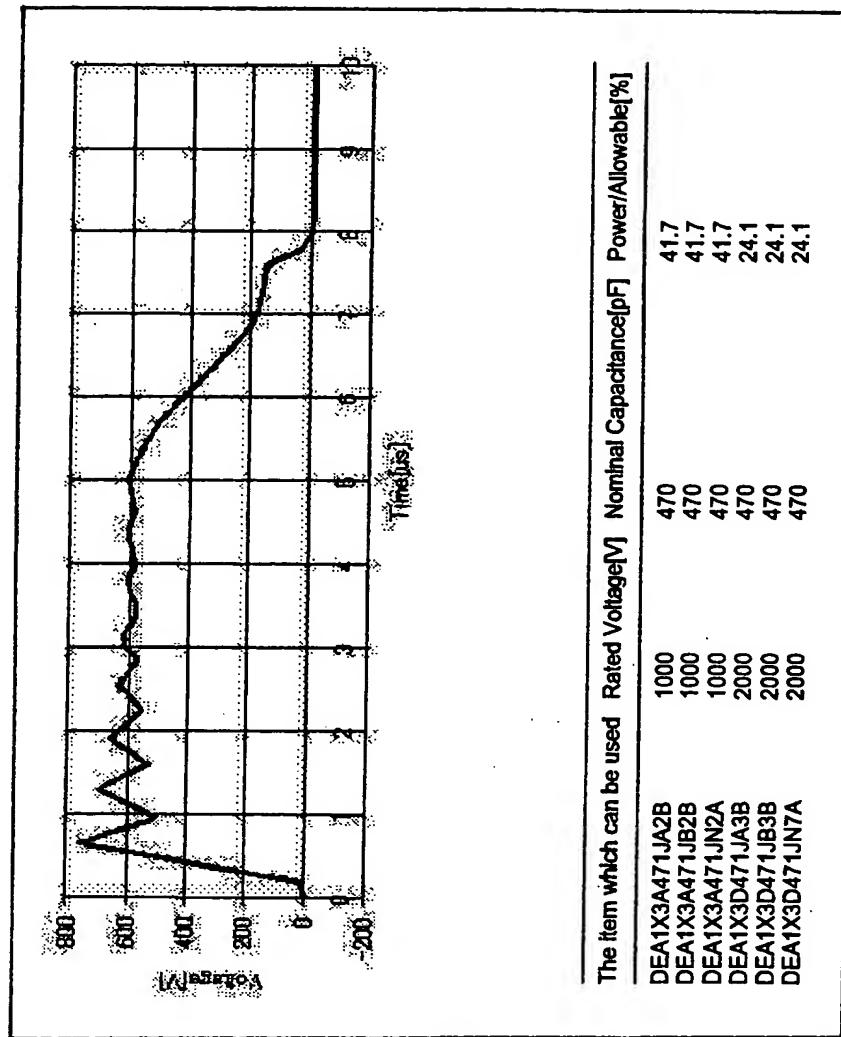
【図12】



【図 1-3】



【図14】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 コンデンサの静電容量や誘電正接と周期性電圧の波形とから、実際にコンデンサが消費する有効電力を求めることができるコンデンサに関する有効電力の計算方法などを提供する。

【解決手段】 ステップS1で、コンデンサに加わる周期性電圧V(t)の波形を設定する。次に、ステップS2で所望するコンデンサの静電容量を入力する。さらに、ステップS5で、コンデンサの両端に加わる周期性電圧V(t)の波形をフーリエ展開する。つまり、周期性電圧V(t)を、高次の周波数成分の正弦波と余弦波の級数にフーリエ展開する。次に、ステップS6で、コンデンサが消費する有効電力Peを計算する。このとき、コンデンサの静電容量と誘電正接の温度特性、電圧特性および周波数特性のデータが利用される。

【選択図】 図6

特願2003-373119

出願人履歴情報

識別番号 [000006231]

1. 変更年月日 1990年 8月28日
[変更理由] 新規登録
住 所 京都府長岡京市天神二丁目26番10号
氏 名 株式会社村田製作所